



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 132 667 B1**

⑫

# EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift:  
28.10.87

⑤① Int. Cl.: **F 01 D 5/28, F 01 D 5/18**

②① Anmeldenummer: 84107962.7

②② Anmeldetag: 07.07.84

⑤④ Thermisch hochbeanspruchte, gekühlte Turbinenschaufel.

③⑩ Priorität: 28.07.83 DE 3327218

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
13.02.85 Patentblatt 85/7

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
28.10.87 Patentblatt 87/44

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT SE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE - A - 3 235 230  
GB - A - 2 027 495  
GB - A - 2 027 496  
GB - A - 2 049 484  
GB - A - 2 054 054  
US - A - 3 011 761  
US - A - 3 114 961  
US - A - 3 647 316  
US - A - 4 075 364  
US - A - 4 135 851  
US - A - 4 148 350  
US - A - 4 336 276

DIESEL & GAS TURBINE WORLDWIDE, Juli-August  
1983, Seiten 51-52, Brookfield, US; "Strain isolated  
ceramic coatings"

⑤⑤ Entgegenhaltungen: (Fortsetzung)  
W. TRAUPEL "Thermische Turbomaschinen", zweiter  
Band, 1982, Springer Verlag Berlin, Heidelberg,  
New-York, Seite 360, Abb. 19.10.7

⑦③ Patentinhaber: MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION  
MÜNCHEN GMBH, Dachauer  
Strasse 665 Postfach 50 06 40, D-8000 München 50 (DE)

⑦② Erfinder: Schweitzer, Klaus, Dr.rer.nat. Dipl.-Chem.,  
Moritz-von-Schwind-Weg 42, D-8134 Niederpöcking  
(DE)

EP 0 132 667 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine thermisch hochbeanspruchte gekühlte Turbinenschaufel, mit einem tragenden metallischen Kern, der an seiner Oberfläche integrierte Kühlluftführungsnuten aufweist und mit einem wärmedämmenden Mantel.

Da die Prozesstemperaturen von thermischen Kraftmaschinen in jüngerer Zeit immer höher geschraubt werden, andererseits aber keine Materialien gefunden werden konnten, die bei den extrem hohen Prozesstemperaturen genügend mechanische Festigkeit bzw. Dauerhaftigkeit aufweisen, geht man heute davon aus, dass Bauteile, die extrem hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie z.B. Turbinenschaufeln von Gasturbinen, in jedem Fall mittels einer besonders vorzusehenden Kühlvorrichtung auf einem zulässigen Temperaturniveau gehalten werden müssen.

Neben vielen anderen Kühlvorrichtungen sind Entwicklungen bekannt, wonach thermisch hochbeanspruchte Turbinenschaufeln mit porösen Oberflächen versehen werden, durch die aus einem inneren Hohlraum heraus ein Kühlmedium nach aussen strömt und somit eine kühlende Grenzschicht an der Oberfläche der Turbinenschaufel ausbildet. Ein derartiges Kühlprinzip ist als sogenannte Effusionskühlung bekannt (vergleiche DE-A-25 03 285). Nachteilig ist hierbei der hohe Durchströmungswiderstand der Kühlluft sowie der grosse Kühlluftverbrauch für eine effektive Kühlung der äusseren Manteloberfläche.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer thermisch hochbeanspruchten gekühlten Turbinenschaufel der eingangs genannten Art, die bei einfachem Aufbau im Betrieb besonders gut und effektiv gekühlt werden kann.

Gelöst wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe dadurch, dass der Mantel aus einem Schichtverbund, der aus einem fest mit den Stegen der Kühlluftführungsnuten verbundenen und die Kühlluftführungsnuten abdeckenden Metallfilz auf den aussenseitig eine keramische Wärmedämmschicht aufgebracht ist, besteht. Die Kühlluftführungsnuten sind zweckmässigerweise bereits beim Feingussverfahren des metallischen Stützkerns vorgefertigt oder nachträglich durch Fräsen, Funkenerodieren oder elektrochemisches Abtragen eingearbeitet.

Aus der GB-A-2 054 054 ist es zwar bekannt, ein wärmedämmendes Bauteil aus einem Schichtverbund aufzubauen, der aus einer Metallfilzschicht, einer keramischen Deckschicht und einer dazwischen liegenden, die beiden anderen verbindenden Metallschicht, besteht.

Die Metallfilzschicht soll die unterschiedlichen Wärmedehnungen von keramischer Deckschicht und metallischem Untergrund durch ihre Elastizität ausgleichen. Eine Beaufschlagung der Metallfilzschicht mit Kühlluft findet dabei nicht statt.

In weiterer Ausbildung der Erfindung ist der Metallfilz vorteilhafterweise auf die Stege der Kühlluftführungsnuten aufgelötet, geschweisst oder geklebt. Nach dem Stand der Technik gemäss DE-A-25 03 285 sind Stützkernstege und

Aussenmantel einstückig gegossen und mithin vergleichsweise aufwendig in der Fertigung.

Der Metallfilz besteht zweckmässigerweise aus einer hochtemperatur- und korrosionsbeständigen Legierung, insbesondere auf Nickel- und/oder Kobaltbasis (beispielsweise NiCr, NiCrAl, Hastelloy X, NiCrAlY-Legierung, CoCrAlY-Legierung).

Der Metallfilz dient als elastisches Trägermaterial für eine keramische Wärmedämmschicht, die auf verschiedene Weise auf den Filz aufgebracht werden kann. Für einen besonders guten Halt ist vorgesehen, dass der Metallfilz von aussen teilweise mit Keramik infiltriert und aussen mit einer kompakten Keramikschicht überzogen ist, die die eigentliche Wärmedämmschicht bildet.

Die Infiltration und Aufbringung der Keramikschicht erfolgt zweckmässigerweise durch thermisches Spritzen oder durch ein Schlicker-Sinterverfahren.

Auch kann die Infiltration und Aufbringung der Schicht durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) erfolgen.

Zweckmässigerweise besteht die Keramikschicht aus teil- oder vollstabilisiertem Zirkonoxid. Die Aufbringung auf den Metallfilz kann durch eines der vorgenannten, aber auch durch Kombination von mehreren der vorgenannten Verfahren erfolgen.

Die äussere Oberfläche der eigentlichen keramischen Wärmedämmschicht ist zweckmässigerweise poliert und/oder aerodynamisch geformt, um Turbinenschaufelzwecken besser zu dienen.

Durch die Erfindung wird mithin eine neues Kühlungskonzept für eine thermisch hochbeanspruchte gekühlte Turbinenschaufel geschaffen: es wird die Kühlkonfiguration der Effusionskühlung mit einer Wärmedämmschicht kombiniert, wodurch auf die mit grossem Kühlluftverbrauch verbundene Lufteffusion zur Verminderung des Wärmeüberganges verzichtet werden kann. Stattdessen wird die Wärmedämmung einer Keramikschicht ausgenutzt. Die noch durch die Wärmedämmschicht hindurchfliessende Wärme wird durch den Metallfilz, der eine sehr grosse Oberfläche besitzt, optimal abgeführt, und zwar wird die Wärme der Wärmedämmschicht direkt entzogen, so dass der die Belastung tragende metallische Stützkern der hochbeanspruchten Turbinenschaufel vergleichsweise kalt bleibt. Im Vergleich zur Effusionskühlung kann durch die Erfindung bei gleicher Kühlungseffektivität Kühlluft eingespart und der thermodynamische Wirkungsgrad gesteigert werden. Die wärmedämmende Keramikschicht kann durch die Metallfilz-Zwischenschicht wesentlich dichter als bei direkter Aufbringung auf den kompakten metallischen Grundkörper hergestellt werden, so dass eine sehr gute Wärmedämmung möglich ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Turbinenschaufel,

Fig. 2 die Einzelheit A der Fig. 1 in grösserer schematischer Darstellung, und

Fig. 3 den Hinterkanten-Querschnitt der Turbinenschaufel in anderer Ausführung.

In Fig. 1 ist schematisch das Innere einer Turbinenschaufel 1 gezeigt. Die Turbinenschaufel 1 setzt sich aus einem metallischen Stützkern 2, einem den metallischen Stützkern 2 umschliessenden Metallfilz 4 und einer aussenseitig den Metallfilz 4 umschliessenden keramischen Wärmedämmschicht 6 in einer Verbundbauweise zusammen.

Der metallene Stützkern ist eine Nickelbasislegierung und besitzt an seiner Oberfläche eingearbeitete Kühlluftführungsnuten 3 mit Stegen 5, an denen der Metallfilz 4 aufgelötet, geschweisst oder angeklebt ist.

Der Metallfilz selbst ist auf NiCrAl-Basis aufgebaut, ist als elastisches Trägermaterial für die äussere Wärmedämmschicht 6 vorgesehen und bietet eine grosse Oberfläche zur optimalen Abführung der durch die Wärmedämmschicht 6 hindurchfliessenden Wärme.

Die äussere Wärmedämmschicht 6 ist teil- oder vollstabilisiertes Zirkonoxid, wobei eine gute Verankerung der äusseren Wärmedämmschicht 6 mit dem Metallfilz 4 durch Teilinfiltration des Filzes erzielt wird, und zwar vorzugsweise durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD). Die Infiltrationsschicht des Filzes ist deutlich in der Einzelheit A der Fig. 2 gezeigt. Auf ihr ist die kompakte Zirkonoxidschicht abgeschieden, die die eigentliche wärmedämmende Funktion übernimmt.

Der Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die Wärme im Betrieb nicht durch das gesamte Bauteil fliessen muss, sondern auf kürzestem Wege dem Kühlmedium zugeführt wird, wobei der Wärmefluss durch die niedrige Wärmeleitfähigkeit oder Keramikschicht insgesamt niedrig gehalten wird, so dass trotz gesteigerter Gastemperatur ein geringer Kühlluftbedarf notwendig ist.

Der leicht verformbare Metallfilz 4, der bevorzugt ein NiCrAl-Filz ist, der aus warmfester, z.B. Nickelbasislegierung auf den metallischen Stützkern aufgelötet ist, gestattet die Aufbringung einer sehr dichten und vergleichsweise dicken Keramikschicht (im Vergleich zur Aufbringung auf massive metallische Substrate), da die Unterschiede in der thermischen Dehnung zwischen Metall und Keramik durch die leichte Deformierbarkeit des Metallfilzes nicht zum Aufbau von für die Keramik unzulässigen hohen Spannungen führt.

In Fig. 1 ist in der Einzelheit B1 eine Turbinenschaufelhinterkante gezeigt, die vergleichsweise spitz ausgebildet ist und die Enden des eingeschlossenen Metallfilzes 4 enthält.

Die in Fig. 3 veranschaulichte Einzelheit B2 kennzeichnet sich durch eine andere Austriebskantenkonstruktion mit grösserer Rundung.

#### Patentansprüche

1. Thermisch hochbeanspruchte gekühlte Turbinenschaufel (1), mit einem tragenden metallischen Kern (2), der an seiner Oberfläche inte-

grierte Kühlluftführungsnuten (3) aufweist und mit einem wärmedämmenden Mantel, dadurch gekennzeichnet, dass der Mantel aus einem Schichtverbund, der aus einem fest mit den Stegen (5) der Kühlluftführungsnuten (3) verbundenen und die Kühlluftführungsnuten (3) abdeckenden Metallfilz (4) auf den aussenseitig eine keramische Wärmedämmschicht (6) aufgebracht ist, besteht.

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallfilz (4) auf die Stege (5) aufgelötet, geschweisst oder geklebt ist.

3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallfilz (4) aus einer hochtemperatur- und korrosionsbeständigen Legierung besteht.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallfilz (4) eine Legierung auf Nickel- und/oder Kobaltbasis ist.

5. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallfilz (4) von aussen teilweise mit Keramik (7) infiltriert und aussen mit einer kompakten Keramikschicht überzogen ist, die die eigentliche Wärmedämmschicht (6) bildet.

6. Turbinenschaufel nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Infiltration und Aufbringung der Keramikschicht durch thermisches Spritzen erfolgt.

7. Turbinenschaufel nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Infiltration und Aufbringung der Keramikschicht durch ein Schlicker-Sinterverfahren erfolgt.

8. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Infiltration und Aufbringung der Keramikschicht durch chemische Gasphasenabscheidung erfolgt.

9. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmedämmschicht (6) aussen poliert und/oder aerodynamisch geformt ist.

10. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht aus teil- oder vollstabilisiertem Zirkonoxid besteht.

#### Revendications

1. Aube de turbine fortement sollicitée thermiquement et refroidie (1), comportant un noyau métallique de soutien (2), qui présente, à sa surface, des rainures intégrées (3) de passage de l'air de refroidissement, et une enveloppe isolante, caractérisée en ce que l'enveloppe est formée d'un complexe de couches constitué d'un feutre métallique (4) qui est fermement relié avec les barrettes (5) des rainures de passage de l'air de refroidissement (3), qui recouvre les rainures de passage de l'air de refroidissement (3) et sur lequel est rapportée, extérieurement, une couche isolante céramique (6).

2. Aube de turbine selon la revendication 1, caractérisée en ce que le feutre métallique (4) est brasé, soudé ou collé sur les barrettes (5).

3. Aube de turbine selon la revendication 1 ou

2, caractérisée en ce que le feutre métallique (4) est constitué d'un alliage résistant à haute température et à la corrosion.

4. Aube de turbine selon la revendication 3, caractérisée en ce que le feutre métallique (4) est un alliage à base de nickel et/ou de cobalt.

5. Aube de turbine selon les revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le feutre métallique (4) est partiellement infiltré, de l'extérieur, par la céramique (7) et est revêtu extérieurement d'une couche de céramique compacte qui forme la couche isolante proprement dite (6).

6. Aube de turbine selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'infiltration et l'apport de la couche céramique se font par projection thermique.

7. Aube de turbine selon la revendication 5 ou 6, caractérisée en ce que l'infiltration et l'apport de la couche céramique se font par un procédé de frittage de barbotine.

8. Aube de turbine selon les revendications 5 à 7, caractérisée en ce que l'infiltration et l'apport de la couche céramique se font par dépôt chimique en phase gazeuse.

9. Aube de turbine selon les revendications 1 à 8, caractérisée en ce que la couche isolante (6) est polie extérieurement et/ou reçoit une forme aérodynamique.

10. Aube de turbine selon les revendications 5 à 9, caractérisée en ce que la couche céramique est constituée d'oxyde de zirconium partiellement ou totalement stabilisé.

#### Claims

1. Thermally highly-stressed cooled turbine blade (1) with a supporting metallic core (2) having on its surface integrated cooling air-guide slots (3) and having a heat insulating shell, characterised in that the shell consists of a composite

coating comprising a metal felt (4) connected to and covering the cooling air guide slots (3) and to the outside of which a ceramic heat insulating coating (6) is applied.

2. A turbine blade according to Claim 1, characterised in that the metal felt (4) is soldered, welded or glued to the webs (5).

3. A turbine blade according to Claim 1 or 2, characterised in that the metal felt (4) consists of an alloy which is resistant to corrosion and high temperatures.

4. A turbine blade according to Claim 3, characterised in that the metal felt (4) is a nickel and/or cobalt based alloy.

5. A turbine blade according to Claims 1 to 4, characterised in that the metal felt (4) is infiltrated partially from the outside by ceramic (7) and is externally coated with a compact layer of ceramic material which constitutes the actual heat insulating coating (6).

6. A turbine blade according to Claim 5, characterised in that the infiltration and application of the ceramic layer is carried out by thermal spraying.

7. A turbine blade according to Claim 5 or 6, characterised in that infiltration and application of the ceramic coating is carried out by a slip sintering process.

8. A turbine blade according to Claims 5 to 7, characterised in that infiltration and application of the ceramic coating is carried out by chemical gas phase deposition.

9. A turbine blade according to Claims 1 to 8, characterised in that the heat insulating coating (6) is externally polished and/or aerodynamically shaped.

10. A turbine blade according to Claims 5 to 9, characterised in that the ceramic coating consists of partly or fully stabilised zirconium oxide.

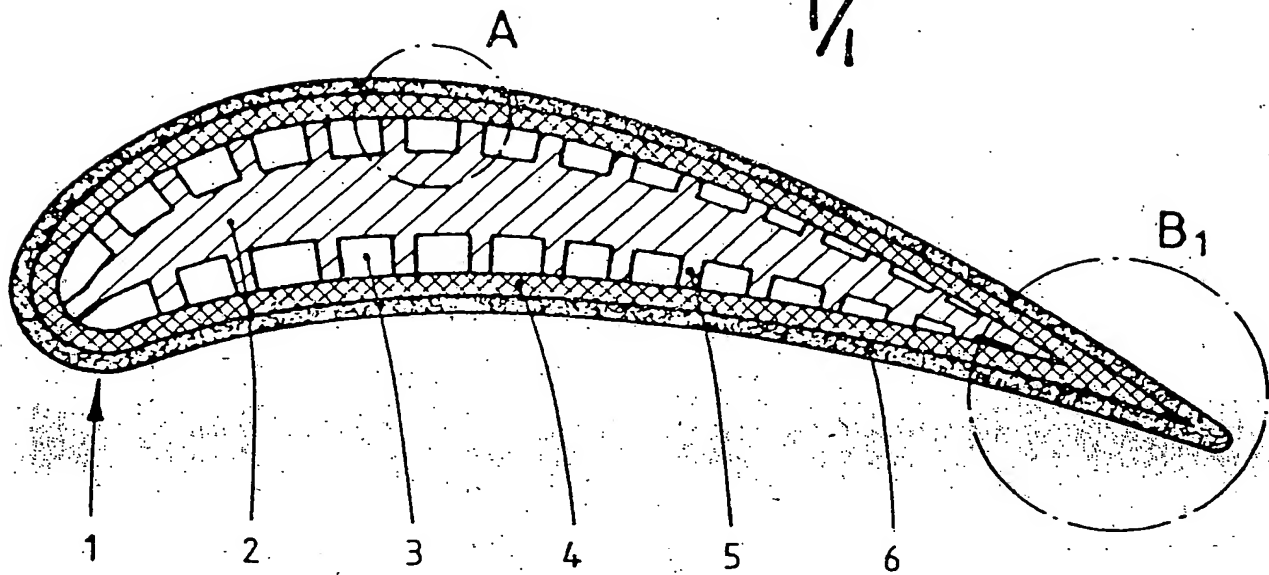


Fig. 1

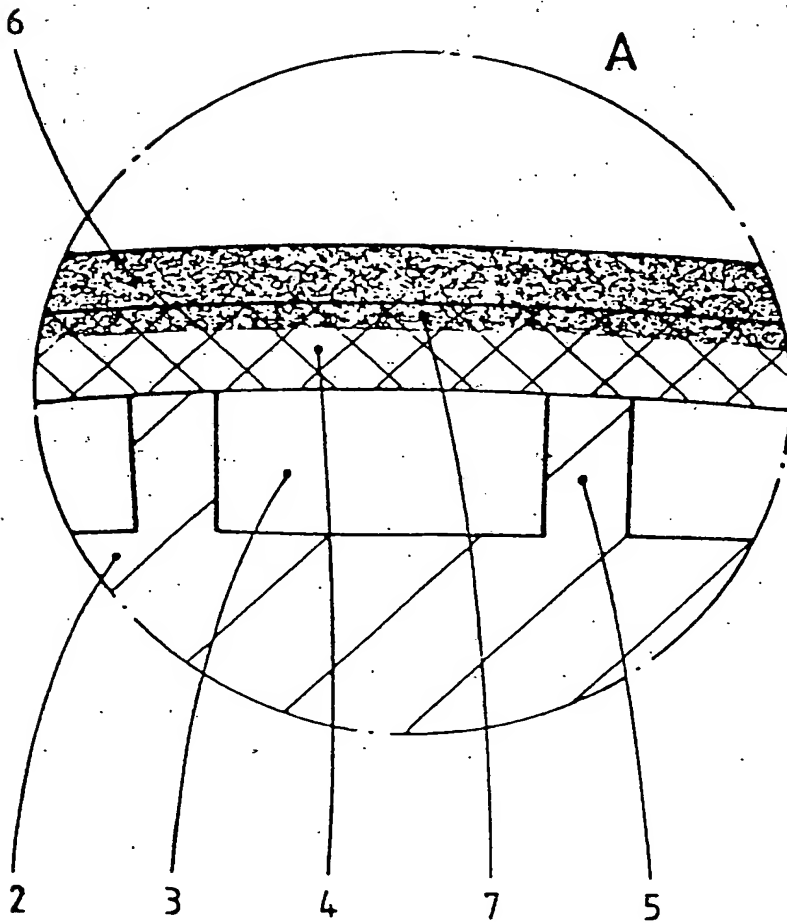


Fig. 2

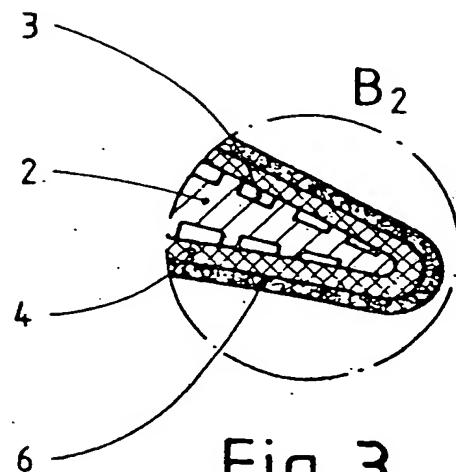


Fig. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**